INFLUENCE DE L'ESPECE SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'ECOSYSTEME FORESTIER

LE CAS DE LA SUBSTITUTION D'UNE ESSENCE RESINEUSE A UNE ESSENCE FEUILLUE

C. NYS [1], J. RANGER [1]

RESUME

La modification de l'équilibre de l'écosystème forestier dans le cas d'une substitution d'essence résineuse à une essence feuillue est qualifiée au niveau des relations sol-plante et plante-sol. La quantification du phénomène est plus difficile, en particulier au niveau de l'effet au sol. La liaison évolution pédologique - évolution de la fertilité au sol est discutée.

INTRODUCTION

L'influence de l'espèce sur le fonctionnement de l'écosystème forêt se caractérise par une action complexe à double sens, sol $\rightleftarrows$ végétation, qui, de plus, est souvent interactive (effet synergétique ou effet dépressif).

Notre propos se limitera ici à l'évaluation quantitative des seuls effets simples (sol-plante, puis plante-sol) dans le cas particulier de la substitution d'une espèce résineuse à une espèce feuillue (climacique ou déjà de substitution).

A partir de quelques exemples de forêt tempérée, nous comparerons d'une part l'intensité du cycle biologique (besoins, restitutions...) et d'autre part l'évolution de la fertilité du sol dans les écosystèmes feuillus et résineux.

I. LES CONTRAINTES DANS LE CHOIX DES SITUATIONS

Il est universellement reconnu que le choix de la situation est déterminant quant à la validité des résultats obtenus. Dans cette comparaison, où toute la variabilité est attribuée à l'effet espèce, les conditions suivantes doivent être remplies :

1. Le choix des situations écologiques et historiques comparables ; le problème est résolu le plus souvent en retenant des peuplements géographiquement proches (« méthode des couples »). Le facteur historique est beaucoup plus difficile à contrôler, par exemple des pratiques telles que le soutrage ont pu avoir un rôle déterminant dans l'aménagement.

2. Pour les études ponctuelles, la comparabilité des stades de développement des peuplements ; cette notion suppose connus les paramètres de croissance des peuplements dans la situation écologique fixée. Comme c'est rarement le cas, on est

I.N.R.A. - C.N.R.F. : Station de Recherches sur les Sols, la Microbiologie et la Nutrition des Arbres Forestiers - Champenoux, 54280 Seichamps.

amené à se référer à des données générales du type « tables de production » (Decourt, 1973). Cette contrainte est particulièrement déterminante pour la comparaison des données instantanées (accroissement courant, prélèvement d'éléments, restitutions, mais aussi effets sur le sol). Pour ne donner qu'un exemple, l'accroissement moyen maximum pour une classe I de fertilité dans l'Est de la France se situe vers 50 ans pour l'épicéa commun, mais vers 150 ans pour le hêtre !

Pour les études dynamiques réalisées à partir de séries de peuplements d'âge croissant, c'est le plus souvent la première contrainte qui est rédhibitoire.

II. LA RELATION SOL-PLANTE

En définitive, peu de situations sont strictement comparables ; de plus, parmi les résineux, c'est le plus souvent l'épicéa commun qui a été étudié (espèce dominante dans les reboisements et dont l'influence sur les sols a été décrite depuis longtemps). Seuls trois couples de peuplements ont été retenus :

— EPICEA-HETRE : Forêt de Kongalund (Suède), NIHLGARD (1972)

Le sol est de type brun acide développé dans une moraine glaciofluviale reposant sur des schistes du Cambrien. La futaie de Hêtre est âgée de 90 ans et a 240 tiges par hectare, celle d'Epicéa est âgée de 55 ans et comporte encore 880 tiges par hectare.

— EPICEA-HETRE : Forêt de Solling (R.F.A.), ULRICH (1974)

Le sol est de type brun acide développé sur un matériel limoneux complexe (loess sur altérite limoneuse d'une formation triasique). La futaie de Hêtre est âgée de 120 ans et a 245 tiges par hectare, celle d'Epicéa est âgée de 85 ans et comporte 595 tiges par hectare.

— EPICEA-FEUILLUS MELANGES (taillis sous futaie) : Forêt de Château-Regnault (Ardennes), NYS *et al.* (1983).

Le sol brun acide est développé dans une altérite limoneuse de phyllades du Révinien. La plantation d'Epicéa a 50 ans et 1 380 tiges par hectare. Le peuplement feuillu est un tailis sous futaie (réserve 120 ans), 70 tiges/hectare - taillis de 30 ans, 7 000 tiges/hectare).

Nous commenterons plus en détail les résultats que nous avons obtenus dans les Ardennes primaires (tableau I).

1. **La production nette**

— Dans ce cas de figure, la substitution d'essence a conduit à un doublement de la production nette par unité de temps. Il faut noter que les taillis éprouvés par de nombreux recépages ne reflètent peut-être pas réellement la fertilité de la station dans la mesure où l'on ne connaît pas la liaison production du taillis-nombre de recépages.

Au plan économique, compte tenu de l'architecture des arbres (rapport tronc/matière sèche totale) et de la densité de bois du tronc, la production exprimée en volume est 2,5 à 3 fois supérieure pour l'Epicéa.

2. **L'immobilisation moyenne**

— L'immobilisation moyenne annuelle d'éléments minéraux traduit la réputation de frugalité des résineux par rapport aux feuillus pour les éléments majeurs (N, P, K, Ca, Mg). Ces résultats sont en accord avec l'exigence nutritionnelle déterminée par

Tableau I : Comparaison de quelques paramètres du cycle biologique d'un écosystème feuillu et d'une pessière en Ardennes primaires.

A comparison between some features of the biological cycle in a broad-leaved and coniferous ecosystem in the primary Ardennes.

			MS t/ha	Bioéléments en kg/ha N	P	K	Ca	Mg
	Immobilisation ligneuse* (kg/ha)	TSF	279	669	50	281	452	51
		EP	558	838	44	386	760	104
	Immobilisation moyenne annuelle	TSF	1.9	4.46	0.3	1.87	3.01	0.34
		EP 1	3.7	5.59	0.29	2.57	5.07	0.69
		2		(10.03)	(0.55)	(3.17)	(5.84)	(0.80)
FLUX	Immobilisation courante**	TSF	3.4	8.6	0.6	3.8	5.0	0.5
		EP	5.9	8.7	0.8	5.2	6.8	1.1
	Litière **	TSF	4.7	61.0	3.1	9.1	21.7	3.1
		EP	4.7	57.5	4.0	8.9	14.7	1.9
	Pluviolessivage net**	TSF		-15.4	0.4	37.5	13.2	3.0
		EP		17.3	0.7	23.3	17.0	3.1
	Σ Retours **	TSF		61.0	3.5	46.6	34.9	6.1
		EP		74.8	4.7	32.2	31.7	5.0
	Prélèvements **	TSF		69.6	4.1	50.4	39.9	6.6
		EP		91.3	6.1	40.2	41.6	6.5

** Données mesurées pour les peuplements en place.
* Données évaluées pour une durée de production significative et comparable pour les deux écosystèmes (cf. NYS *et al.*, 1983).
1) Minéralomasse retenue dans la biomasse ligneuse.
2) Quantité d'éléments soustraite du pool assimilable.

analyse foliaire. En fait, pour avoir une mesure complète de l'exigence d'une espèce, il est nécessaire de comptabiliser la soustraction totale d'éléments du pool assimilable et stockée dans l'écosystème sous forme organique :

Il s'agit de la somme des immobilisations dans la biomasse perenne (ligneuse et masse foliaire des sempervirents) et des immobilisations dans les litières.

Remarque : la comparaison des données du fait des traitements sylvicoles différents (Taillis sous futaie et futaie) exige l'extrapolation à 150 ans des résultats bruts (1 rotation de futaie, 5 rotations de taillis, 2 rotations d'Epicéa). Pour la pessière, nous faisons l'hypothèse que l'accumulation de litière en fin de deuxième rotation est équivalente à celle de fin de première rotation (c'est l'hypothèse la plus favorable).

Au total, les accumulations supplémentaires dans le peuplement d'Epicéa conduisent à une immobilisation moyenne annuelle d'éléments beaucoup plus élevée que pour les feuillus. Le critère de frugalité classiquement reconnu est nettement remis en cause.

3. L'immobilisation courante

— L'immobilisation courante annuelle est une donnée instantanée fortement liée au stade de développement des peuplements. Les résultats confirment ceux obtenus pour l'immobilisation moyenne.

4. Les restitutions

— Les restitutions sont un facteur essentiel pour pallier à la faible disponibilité des éléments nutritifs des sols forestiers.

• PAR LES LITIERES : l'homogénéité des chutes de litières est remarquable, les éléments restitués sont en corrélation étroite avec le contenu foliaire puisque c'est essentiellement ce compartiment qui constitue la litière (bioéléments des litières des feuillus supérieurs aux épicéas).

• PAR LE PLUVIOLESSIVAGE : la tendance est plutôt à une restitution supérieure pour les épicéas : c'est très net pour l'azote pour lequel il y a même absorption des apports externes chez les feuillus ; ce phénomène a déjà été signalé (KATAGIRI et TSUTSUMI, 1981).

Remarque : seuls les éléments provenant d'une lixiviation des tissus foliaires devraient être pris en compte dans le calcul du prélèvement (= pluviolessivage net — dépôts « secs »). Aucune technique de séparation des deux composantes n'étant disponible, on comptabilise globalement les restitutions.

Au total, les restitutions sont supérieures chez l'Epicéa pour N et P (+ 22 et + 34 %) mais inférieures pour K, Ca et Mg (— 31, — 9 et — 18 %).

Le prélèvement (immobilisation courante + restitution) suit essentiellement la loi des restitutions du fait de l'importance relative de ses deux composantes. Dans cette station, les valeurs du rapport :

$$\frac{\text{Prélèvements}}{\text{Eléments assimilables}}$$

qui sont inférieures ou égales à 1/10 pour K et Ca montrent que, quelle que soit l'essence cultivée, on est en limite de disponibilité pour ces éléments majeurs (d'après les normes définies empiriquement, RANGER et BONNEAU, 1984).

5. Discussion

Les tendances décrites dans cette station se retrouvent dans les deux autres exemples comme le montre l'indice d'efficience (quantité d'éléments immobilisés par unité de matière sèche produite) (tableau II). L'efficience de l'épicéa est supérieure

Tableau II : Comparaison de l'immobilisation moyenne par tonne de matière sèche dans 3 couples feuillus-résineux.

A comparison of mean immobilisation of elements per tonne of dry material in 3 pairs of broadleaved and coniferous stands.

		N	P	K	Ca	Mg
NIHLGARD 1971	Hêtre	2.9	0.25	1.33	1.8	0.3
	Epicea 1	1.9	0.22	1.08	1.28	0.21
	2	3.1	0.33	1.43	1.62	0.25
NYS et al. 1981	Feuillus	2.35	0.17	0.98	1.58	0.18
	Epicea 1	1.5	0.08	0.70	1.37	0.19
	2	2.7	0.15	0.86	1.58	0.22
ULRICH et al. 1971	Hêtre	1.42	0.44	0.84	1.03	0.18
	Epicea 1	2.21	0.11	0.42	1.52	0.23
	2	3.72	0.16	1.69	1.77	0.42

1) Immobilisation ligneuse.
2) Immobilisation ligneuse + masse foliaire sempervirente + accumulation de litière.

à celle des feuillus si l'on ne prend en compte que les immobilisations dans la biomasse ligneuse du peuplement ; elle n'est, au mieux, qu'équivalente si l'on prend en compte les immobilisations dans l'écosystème.

Au plan quantitatif, la différence d'immobilisation est essentiellement liée à la différence des productions des peuplements (forte en Ardennes, nulle dans l'exemple suédois). Les différences de vitesse de développement impliquent des longueurs de rotation « économique » de l'ordre de 80 ans pour l'épicéa mais de 150 ans pour les feuillus (de futaie). Les conséquences biologiques pour l'écosystème sont importantes dans la mesure où les phases de récolte et de régénération (provoquant la mise en lumière donc la minéralisation brutale des humus) sont deux fois plus fréquentes pour la pessière.

III. LA RELATION PLANTE-SOL : EVOLUTION DE LA FERTILITE DU SOL

Il ressort assez clairement des recherches entreprises depuis plusieurs années que la substitution d'essence résineuse (en monoculture) à la forêt feuillue entraîne des modifications biologiques, physiques et chimiques (NIHLGARD, 1971 ; BONNEAU *et al.*, 1977 ; NYS, 1975 ; 1981 ; HERBAUTS, DE BUYL, 1981). Il s'agit en général d'une régression biologique qui modifie l'équilibre du système. Sans pouvoir faire une étude exhaustive, nous tenterons de circonscrire les évolutions pédologiques et d'établir leur rapport avec l'évolution de quelques paramètres de la fertilité du sol.

A) La matière organique : modification de quelques propriétés générales

Au plan morphologique, l'introduction de résineux (et en particulier de l'Epicéa commun) en station feuillue conduit en climat tempéré à des modifications très nettes des humus (BONNEAU *et al.*, 1977). La micromorphologie montre l'épaississement des litières fraîches, qui se décomposent mal (l'apport étant sensiblement équivalent), mais aussi celui de la couche H qui introduit une discontinuité de plus en plus franche entre horizons organiques et minéraux. Le tableau III regroupe les données

Tableau III : Modification des caractéristiques générales de la matière organique en fonction des espèces et des stations.

The modification of organic matter properties related to tree species and site.

		Type d'humus	Litière t/ha	C du A_1 t/ha	N du A_1 t/ha	C/N
ARDENNES NYS <u>et al.</u>, 1981	Feuillus	Mull acide	17.3	75.7	4.1	18.5
	Epicea	Moder	37.3	94.9	4.4	21.6
NORMANDIE NYS (à paraître)	Chêne	Mull acide	14.0	23.1	1.8	12.8
	Hêtre	Mull-Moder	26.8	18.3	1.3	14.1
	Epicea	Moder	54.2	33.0	1.5	22.0
	Mélèze	Mull-Moder	41.6	25.3	1.2	21.1
	Douglas	Mull-Moder	57.0	15.9	1.1	14.5
SUEDE NIHLGARD 1971	Hêtre	Mull acide	5.2	51.3	3.6	14.2
	Epicea	Dysmoder	18.5	52.4	2.7	19.5
ALLEMAGNE ULRICH <u>et al.</u> 1971	Hêtre	Mull acide	29.7	45.8	2.6	17.7
	Epicea	Moder	49.0	56.3	2.3	24.3

de quelques stations acides non hydromorphes : l'acidification des humus est générale sous les résineux, avec leur rapport C/N toujours plus élevé que sous les feuillus (des nuances importantes doivent être faites parmi les résineux). La diminution de la disponibilité en N, mais aussi en bioéléments, liée au ralentissement du cycle biologique correspond à une diminution de la fertilité.

Un exemple d'analyse biochimique détaillée empruntée à F. TOUTAIN (1982) montre la divergence des systèmes d'humification : les différences les plus importantes apparaissent dans la fraction fine avec une dominance de « l'héritage » chez l'Epicéa et de la « néosynthèse » chez les feuillus (tableau IV).

Tableau IV : Analyses biochimiques des horizons A_1 de trois peuplements de la forêt d'Eu (Normandie).

Biochemical aanlyses of the A_1 horizons from 3 forest stands in Eu Forest (Normandy).

	Chênaie	Hêtraie	Pessière
Carbone total en %	5.2	10.6	24.6
Carbone de la fraction fine (% du C total)	47.6	37.4	27.6
Répartition du carbone dans les différents extraits de la fraction fine :			
en % du C total du sol			
- matière organique fraîche	4.7	6.9	12.7
- humine héritée	1.9	6.0	6.7
- matière organique liée	41	24.5	8.2
% d'humine d'insolubilisation dans la matière organique liée	26.0	15.1	4.9

B) Evolution de quelques propriétés physiques

Ces paramètres régissent l'économie en air et en eau, qui limite souvent la production forestière.

a) LA DENSITE APPARENTE

La tendance serait une diminution superficielle sous les résineux en sols non hydromorphes, ce serait l'inverse en sols hydromorphes.

b) LA POROSITE

La mise au point des techniques de mesures effectuées à partir d'échantillons de sol non perturbés (BULLOCK *et al.*, 1980) permet de progresser dans la description du système poral. Cette technique appliquée aux horizons superficiels des sols de la forêt d'Eu (figure 1) montre la chute de la porosité totale (30 à 40 %) mais aussi du diamètre moyen des pores dans la pessière. L'organisation microstructurale est caractérisée dans cet écosystème par une destabilisation des agrégats (en surface tout au moins). L'indice global d'instabilité structurale (IS), passant de 1 à 7 des feuillus à la pessière, confirme ces observations. Cette régression structurale a déjà été démontrée par SCHLENKER *et al.* (1969) et *BONNEAU et al.* (1977).

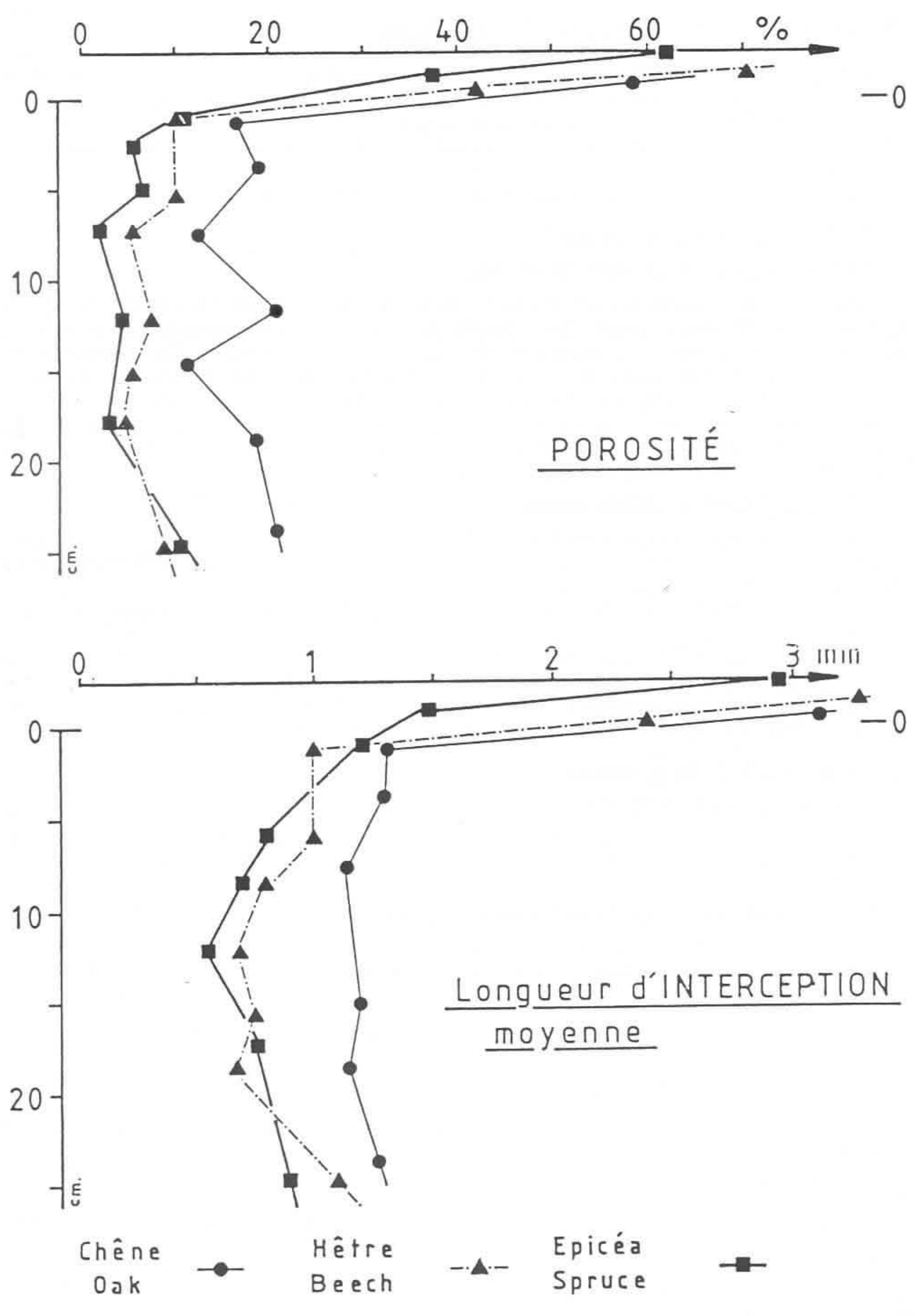


Figure 1 : Porosité totale et diamètre moyen des pores dans des peuplements en forêt d'Eu (Normandie)

Total porosity and mean diameter of pores in the forest stands at Eu Normandy).

C) Evolution de la fertilité chimique

Les évolutions qualitatives (baisse du pH, augmentation de l'acidité d'échange désaturation plus ou moins intense du complexe absorbant, modification des propriétés d'échange des minéraux argileux, augmentation des indices K_{fe}, K_{Al}...) sont relativement faciles à observer ; l'interaction espèce-station est forte (BONNEAU *et al.*, 1977).

La quantification des phénomènes est plus problématique.

1. La fertilité à court terme

a) LES ELEMENTS ECHANGEABLES

Les évaluations quantitatives réalisées dans divers types de station de sol acide non hydromorphe discriminent les stations mais non les peuplements, d'autant qu'il est difficile de donner un intervalle de confiance aux mesures. Ce compartiment très labile ne traduit qu'un équilibre instantané dont le « turn over » est inférieur à la longueur de la rotation des peuplements (RANGER et NYS, 1985, à paraître). Aucune variation de stock ne peut être effectuée. Quand les immobilisations totales sont plus importantes sous les résineux, l'identité des stocks échangeables implique une mobilisation plus forte à partir des réserves non immédiatement disponibles.

b) LES ELEMENTS MOBILISABLES

Il s'agit d'un compartiment de transit rechargeant le complexe absorbant en éléments échangeables ; là encore les réserves actuelles montrent peu de différences dans une même station en fonction de l'espèce.

Un bilan isoquartz dont le principe est de calculer horizon par horizon, la variation en un élément par rapport à l'horizon C qui contient la même masse de quartz que lui et de sommer sur l'ensemble du profil (NYS, 1981), a été appliqué à ce compartiment. L'exemple de la forêt de Château-Regnault (NYS, 1981) montre une augmentation non négligeable des pertes en K_2O (— 2,62 t) et à un moindre degré de MgO (— 0,94 t) après 50 ans de monoculture d'épicéa.

2 La fertilité à long terme

a) LES RESERVES TOTALES

C'est en toute rigueur ce compartiment qui cumule les pertes irréversibles. Les résultats varient avec les stations (tableau V) et il est difficile de tirer des conclu-

Tableau V : Variation isoquartz des éléments totaux.
Isoquartz balance of total elements.

		K_2O	CaO	MgO	MnO	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5
ARDENNES	RES.	276	16.7	62.7	5.8	1691	491	10.6
	R-F 1	-15.2	-4.1	-11.3	-0.6	+4.5	+73.8	+3.7
	R-F 2	- 4	-3.8	-7.8	-0.7	+ 49	+100	+3.5
NORMANDIE	RES.	199	29.4	89.5	11.7	1134	414	2.4
	R-F	+16.5	-21.6	+9.3	-2.0	-43	+12	-0.1
VOSGES	R-F	- 43		+ 1.8	+ 0.7	- 11	- 14	
SOLOGNE	R-F	- 9.8	0					
M. CENTRAL	RES.	332	22	19	1.4	1087	118	13.3
	R-F	-16.4	-0.1	-0.6	-0.2	-60	-28	+2.3

RES. : Réserves des feuillus.
R-F : Variation résineux-feuillus
1. Données brutes.
2. Données corrigées en fonction des migrations différentielles.

sions définitives. Les tendances générales correspondent à une augmentation des pertes supplémentaires sous résineux par rapport aux feuillus.

L'évaluation précise de leur intensité reste hypothétique ; les principales causes sont les suivantes :

• Les VALEURS ABSOLUES comparées des modifications liées à l'espèce et à la pédogenèse générale.

• L'inévitable HETEROGENEITE intra peuplement (les stations sur limons épais de Normandie se sont révélées les plus hétérogènes).

• L'HORIZON DE REFERENCE a déjà pu subir une pédogenèse (présence d'argillanes anciennes), ce qui entraîne une surestimation de la valeur absolue des pertes.

• Une DIFFERENTIELLE DE PEDOGENESE se traduisant (entre autre) par une migration particulaire (argiles) et enrichissant l'horizon de référence des résineux pourrait intervenir. La figure 2 montre que cette tendance serait assez généralisée. Elle est d'ailleurs parfaitement cohérente avec la déstabilisation structurale décrite.

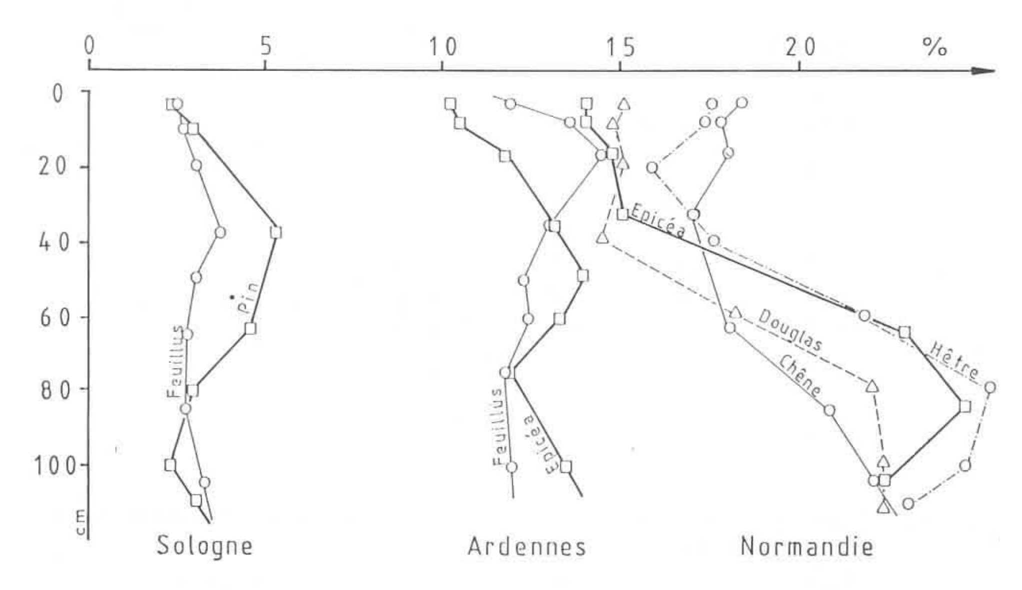


Figure 2 : Distribution des argiles (fraction < 2 μ) dans les profils des sols.

Clay distribution (< 2 μ fraction) in soil profiles.

Les premières études micromorphologiques n'ont pas permis de visualiser cette migration récente ; la dilution importante de cette migration limitée en volume en est vraisemblablement la cause. Un tel processus aurait des répercussions évidentes sur le bilan (surévaluation des pertes sous résineux due au double fait de l'accumulation dans l'horizon et de la perte en surface) mais aussi sur les processus (la migration qui correspond de toutes façons à une perte est comptabilisée en altération des réserves impliquant des pertes par voie soluble). Des corrections ont été appliquées aux données brutes ; certes elles minimisent les pertes (cf. tableau V RES-FEU N° 2) mais la précision sur ces données est faible.

b) LES BILANS LYSIMETRIQUES

Cette technique a été utilisée pour vérifier la réalité des pertes en éléments évalués par les bilans de matière. L'expérience a été réalisée dans les Ardennes primaires par la technique des lysimètres plaques.

En ce qui concerne le bilan hydrique gravitaire, le drainage sous épicéa est toujours inférieur à celui des feuillus avec des différences moyennes annuelles de 75 mm à 30 cm de profondeur, mais de 212 mm à 60 cm (l'intervention d'une composante horizontale complique la comparaison). La différence d'interception des peuplements de l'ordre de 20 % de la pluie incidente est le seul paramètre explicatif.

En ce qui concerne les éléments en solution, les concentrations et les bilans apportent des résultats complémentaires. Les concentrations sont systématiquement plus élevées et à tous les niveaux du sol de la pessière. Dans le détail, les dynamiques sont parallèles dans les écosystèmes, mais les intensités sont différentes. Il ne s'agit pas d'un simple rapport de « dilution-concentration » mais bien d'une différence de fonctionnement comme l'indiquent les profils d'acidité libre (figure 3). Celle-ci représente à la fois la cause (modification des réactions chimiques) et les conséquences participation de l'Al issu des réactions solution-minéral) du fonctionnement de 2 systèmes qui ont des mobilisations différentes même si les redistributions sont semblables (tableau VI). Les résultats lysimétriques infirment donc l'hypothèse

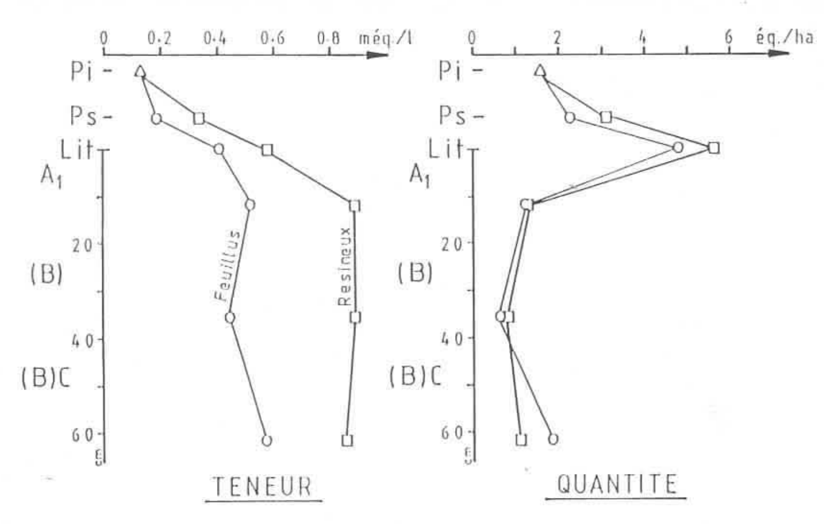


Figure 3 : Expérience lysimétrique des Ardennes primaires : profils moyens annuels de l'acidité libre.

Lysimeter experiment in the Primary Ardennes : mean annuel profiles of free acidity.

Tableau VI : Eléments principaux entraînés par les eaux gravitaires dans les écosystèmes feuillus (F) et résineux (R) des Ardennes primaires.

Major elements removed by gravitational drainage water in broadleaved and coniferous ecosystems in the primary Ardennes.

Eléments Kg/ha/an / Niveau du sol	N		K		Ca		Mg		Al	
	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R
Percolat (B) (- 30 cm)	5.7	7.9	1.8	2.0	3.2	2.5	0.8	0.7	2.8	4.9
Percolat (B)/C (-60 cm) 1	6.8	10.4	1.7	2.4	5.4	3.3	1.7	0.7	9.0	6.8
2	2.8	6.1	0.8	1.6	2.4	2.3	0.8	0.5	4.5	4.7

1. Données brutes.
2. Calcul corrigé pour ramener à un drainage équivalent.

des pertes par la voie soluble (dans la mesure où les phénomènes sont linéaires, ce qui n'est jamais le cas en écologie).

Au total, si des tendances évolutives nettes se dessinent, les évaluations quantitatives sont difficiles. L'étude intégrée de séries chronologiques apporterait des résultats très précieux sur ces différents points, le facteur limitant étant l'analogie initiale des stations à comparer. Les résultats d'une telle étude réalisée par PAGE (1968, 1974), montrent très clairement la liaison stade de développement des peuplements et effets sur le sol (figure 4). Deux conclusions importantes ressortent : 1) concernant le caractère comparable des études ponctuelles ; 2) concernant l'influence du traitement sylvicole sur l'évolution de la fertilité des sols (longueur des rotations, intensité et précocité des éclaircies).

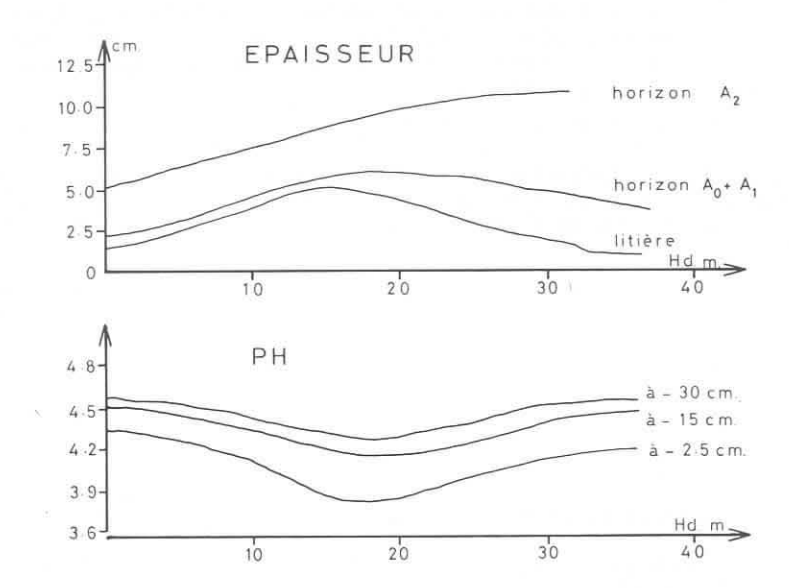


Figure 4 : Chrono séquence : relation entre la hauteur dominante (Hd) et le pH ou l'épaisseur des horizons du sol dans un peuplement d'Epicéa de Sitka (d'après PAGE, 1978).

Time sequence : the relationships between dominant height (Hd) and pH or soil horizon thickness, in a Sitka spruce stand (from PAGE, 1978).

La notion importante d'effet des rotations successives n'a pas fait l'objet d'études précises. Le seul critère de maintien de la production (dont on ne nie pas l'intérêt pratique) étudié par enquête (HOLMSGARD et HOLSTENER-JORGENSEN, 1961) ne semble pas pouvoir être mis simplement en relation avec l'évolution de la fertilité du sol, connaissant la plasticité des espèces forestières.

CONCLUSION

Les revues bibliographiques confirment en général les modifications d'ordre biologique, chimique et physico-chimique des horizons superficiels des sols engendrés par l'introduction de résineux (NOIRFALISE et VANESSE, 1975). Les causes primaires de ce changement de fonctionnement de l'écosystème (dont on a du mal à définir l'état l'équilibre) résident : 1) dans la biophysique et la biochimie des litières de conifères

(WITTICH, 1959) ; 2) dans le microclimat induit (NIHLGARD, 1969) et 3) dans la simplification des écosystèmes (FLORENCE et LAMB, 1975). L'ensemble de ces facteurs modifie assez radicalement la biologie du sol (C.R. PIREN, 1982) et par conséquent son fonctionnement actuel. Au plan pédogénétique, la vitesse des transformations est à souligner (changement radical de la matière organique liée, possibilité de remise en suspension de 10 % de minéraux argileux en 70 ans dans l'exemple de la forêt d'Eu).

Trop peu de situations ont été étudiées pour tirer des conclusions définitives compte tenu des nuances à apporter en fonction des espèces, des stations et des traitements sylvicoles.

Les résultats présentés (malgré les limites de l'approche quantitative et la nécessité des recherches complémentaires, expérimentales en particulier) tendent à montrer que le conifère réputé le plus agressif (*Picea excelsa* Link.) n'a pas conduit à des pertes catastrophiques de fertilité. Le tableau VII de synthèse fait le point sur les modifications et leur réversibilité.

Les mesures de production en fonction des rotations successives de résineux montrent que ces dernières ne génèrent pas en général un milieu qui leur est défavorable (quelques exceptions existent). Des réserves doivent être émises quant à la validilité de ce test biologique, compte tenu de l'amplitude écologique des essences forestières (le test avec l'espèce substituée serait en outre plus satisfaisant).

Reçu pour publication : Juillet 1985
Accepté pour publication : Octobre 1985

Tableau VII : Synthèse de l'évolution de la fertilité des sols enrésinés.

A synthesis of the changes in the fertility of soils after reafforestation by coniferous species.

— PHYSIQUE :	
• Changement de densité • Dégradation de structure • Perte de porosité	REVERSIBLE ?
• Migration des particules ?	IRREVERSIBLE
— CHIMIE ET PHYSICO-CHIMIE :	
• Pertes liées : - aux besoins propres (si la production augmente) - à la vitesse de développement (perturbation ± fréquente) - au traitement sylvicole (intensité des exploitations système d'exploitation et de régénération)	IRREVERSIBLE
• M.O. : disponibilité en N	REVERSIBLE ?
• Perte de CEC (minérale) liée aux migrations • Evolution du complexe absorbant • Perte d'éléments totaux - drainage hors de l'écosystème - transfert en limite de zone racinaire.	IRREVERSIBLE

THE INFLUENCE OF SPECIES ON THE FONCTION OF FOREST ECOSYSTEM THE REPLACEMENT OF BROADLEAVED BY CONIFEROUS SPECIES.

The change in the forest ecosystem equilibrium caused by the replacement of broadleaved species by conifers species appears either in the soil plant or the plant-soil relationship.

Therefore in the paper we have tried to quantify these phenomena.

The soil plant relationship shows that the spruce is more efficient (in terms of dry material produced/elements consumed) (Table 2) than the broadleaved trees if only takes into account the immobilisation in the woody material ; it is equivalent if one included all the immobilisation in the ecosystem (woody biomass, perennial foliage and accumulation in the litter). The difference in the speed of stand development has important effects on the ecosystem (the frequency of forest management).

The effects on the soil (the plant-soil relationship) (Table 3 and 4) are clear but difficult to qualifiy because ; i) the changes are small ; ii) soil heterogeneity is inevitable and iii) changes in the factors considered to be constant may occur, due to differences in pedogenesis.

Lysimetry (Table 6), which shows only a small increase in losses under the spruce, tends to demonstrate that the origin of the K and Mg losses determined by the isoquartz balance method, may be mainly particulate as the clay distribution in the profiles tend to show.

Regarding fertility (Table 7), these losses (of soluble and particulate elements in conjunction with a reduction in the quality of the mineral absorption complex, are irreversible, bot the changes linked directly to he organic matter may be reversible.

BIBLIOGRAPHIE

BONNEAU M., BRETHES A., LACAZE J.F., LELONG F., LEVY G., NYS C., SOUCHIER B., 1977. — Modification de fertilité des sols sous boisements artificiels de résineux purs. *C.R. fin d'études D.G.R.S.T., 88 p.*

BRETHES A., NYS C., 1975. — Effets des résineux sur la fertilité des sols. Difficultés des recherches et premiers résultats. *Science du Sol (Bull. A.F.E.S.)*, 1, 3-18.

BULLOCK P., MURPHY C.P., 1980. — Towards the quantification of soil structure. *Journal of Microscopy*, 120, 317-328.

DECOURT N., 1973. — Table de production des forêts françaises. *Publi. I.N.R.A. - E.N.G.R.E.F., Nancy, 1973.*

FLORENCE R.G., LAMB D., 1975. — Ecosystem processes and the management of radiata pine forests on sand dunes in South Autralia. *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 9, 34-48.

HERBAUTS J., DEBUYL E., 1981. — The relation between spruce monoculture and incipient podzolisation in orchreous brown earths of the Belgian Ardennes. *Plant and Soil*, 59, 33-49.

HOLMSGARD E., HOLSTENER-JORGENSEN H., 1961. — Soil conditions and increment stands of Norway Spruce of 1st and 2nd rotation. *In : 13th I.U.F.R.O. Congress, Vienne, 1961.*

KATAGIRI Sh. TSUTSUMI T., 1978. — The relationship between site conditions and circulotion of nutrients in forest ecosystems : V the difference in nutrient circulation between stands located on upper part of slope and lower part of slope. *J. Jap. For. Soc.* 60, 195-202.

NIHLGARD B., 1969. — The microclimate in a beech and a spruce forest. A comparative study from Kongalud forest Scania Sweden. *Bot. Notiser*, 122, 333-352.

NIHLGARD B., 1971. — Pedologival influence of spruce planted on former buch forest soils in Scania South Sweden. *Oikos* 22, 302-314.

NIHLGARD B., 1972. — Plant Biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in South Sweden. *Oikis*, 23, 69-81.

NOIRFALISE A., VANESSE R., 1975. — Conséquences de la monoculture des conifères pour la conservation des sols et pour le bilan hydrologique. *Ass. Espaces Verts*, Bruxelles, 1975.

NYS C., 1981. — Modification des caractéristiques physico-chimiques d'un sol brun acide des Ardennes primaires, par la monoculture d'épicéa. *Ann. Sci. For.* 38 (2), 237-258.

NYS C., RANGER D., RANGER J., 1983. — Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillus et résineux des Ardennes primaires françaises. III - minéralomasse et cycle biologique. *Ann. Sci. Forest.*, 40 (1), 41-66.

PAGE G., 1968. — Some effects of conifer crops on soil properties. *Commonwealth Forest Rev.* 47, 52-62.

PAGE C., 1974. — Effects of forest cover on the properties of some Newfoundland forest soils. *Department of the Environment - Canadian Foresty Service*. Publ. N° 1332., Ottawa, 1974.

RANGER J., BONNEAU M., 1984. — Effets prévisibles de l'intensification de la production et des résultats sur la fertilité des sols. R.F.F. XXXVI, 2, p. 93-112.

RANGER J., NYS C., 1985. — Le bilan minéral de la sylviculture et de l'exploitation forestière. L'exemple d'un taillis simple Ardennais. *Œcol. Plant.* (sous presse).

SCHLENKER, BABEL, BENECKE, BLUME, DIETRICH, EVERS, MULLER, MUNNOCH, ZIMMERMAN, 1969. — Untersuchungen üher Auswirkungen des Fichtenrein anhans auf parabraunerden und Pseudogleye des Neckar landes. *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standirtkunde und Forstpflanzenzüchtung*, 19, 72-114

TOUTAIN F., 1982. — *In* « Conséquences de la monoculture des résineux ». *C.R. ASP PIREN N° 4.*

ULRICH B., AHRENS E., ULRICH B., 1971. — Soil chemical differences between beech and spruce sites. An example of the methods used. *In* « Ecological studies. Integrated experimental ecology ». H. Ellenberg Ed., Springer Verlag, Berlin, 171-196.

ULRICH B., 1974. — Influence de la fertilisation sur le cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers. In : *C.R. Coll. Int. FAO IUFRO.* « Utilisation des engrais en forêt », Paris, Décembre 1973.

VEDY J.C., 1973. — Relation entre les cycles biogéochimiques des cations et l'humification en milieu acide. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Nancy I, 116 p.

WITTICH W., 1959. — *In* « Der Wald Braucht » Kalk, Kölner Univ. Verlag.